Odbitka z czasopisma Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika
KOSMOS XXXVIII.
1913.

Dzisiejszy stan teoryi atomistycznej

[L'etat actuel de la théorie atomistique]

napisał

MARYAN SMOLUCHOWSKI.

LWÓW.

I. ZWIĄZKOWA DRUKARNIA WE LWOWIE, UL. LINDEGO L. 4.

1913.

Odbitka z czasopisma Kosmos zeszyt 4—6 z r. 1913.

Dzisiejszy stan teoryi atomistycznej

[L'état actuel de la théorie atomistique], *)

napisał

MARYAN SMOLUCHOWSKI.

Spróbujmy wmyśleć się na chwilę w położenie historyka, który w kilkadziesiąt lat po nas będzie opisywał dzieje nauk ścisłych doby dzisiejszej. Ostatnie dwudziestolecie, na przełomie z dziewiętnastego na wiek dwudziesty, będzie mu się przedstawiać niewątpliwie jako okres świetnego rozwoju nauk ścisłych, w szczególności fizyki, pełen odkryć nadzwyczajnych, wprost sensacyjnych. Fale elektromagnetyczne i telegrafia bez drutu — uprzystępnienie nizkich temperatur przez skroplenie wodoru i helu, osiągnięcie (w ostatnich czasach) temperatury — 272°, odległej tylko o jeden stopień od bezwględnego zera — odkrycie promieni Röntgena, — poznanie istoty promieni katodowych, — odkrycie promieni ciał promieniotwórczych, — odkrycie zjawiska Zeemanna: wszystko to są odkrycia pierwszorzędne w historyi nauk, których znaczenie każdy laik nawet rozumie, i które nawet w prasie codziennej sensacyjnem echem się odzywały.

Jeżeli ów historyk będzie jednak umysłem głębszym, nie zadowoli się zarejestrowaniem tych faktów zewnętrznych, po części nawet przypadkowych, tylko będzie dążył do tego, żeby zdać sprawę z ukrytych sprężyn rozwoju naukowego, z ogólnych prądów umysłowych, prze-

*) Odczyt inauguracyjny na kursie uzupełniającym dla nauczycieli szkół średnich we Lwowie, dnia 12. marca 1913.

jawiających się w nauce — to dopiero jest właściwa historya nauki. Jakie tedy kierunki naukowe w fizyce — czyli filozofii przyrody, jak Anglicy słusznie powiadają — uderzą go, jako wybitne cechy, charakteryzujące ten okres czasu?

Gdybym miał określić kilkoma słowami fazę rozwoju fizyki w tym czasie, powiedziałbym, że jest to: odrodzenie atomistyki, połączone z elektryzacyą fizyki, a ogólne tło tego ruchu jest powrót do spekulatywnego romantyzmu naukowego. Będę się starał bliżej wyjaśnić te wyrażenia, dając, z tego właśnie punktu widzenia, pogląd na obecny stan fizyki teoretycznej.

Mówiąc o odrodzeniu atomistyki tem samem już zaznaczamy, że poprzedzający okres był okresem względnego upadku albo przynajmniej poniewierki atomistyki. Tak też istotnie było. Pod koniec dziewiętnastego wieku górowała w świecie naukowym opinia, że atomistyka i wraz z nią tak zwana teorya kinetyczna materyi jest przeżytkiem, że jest to teorya na zagładę skazana, jak niegdyś Newtona emisyjna teorya światła.

Słynny fizyk i filozof Mach, pod innym względem tak zasłużony koło filozoficznego pogłębienia nauk ścisłych, zwalczał namiętnie atomistykę jako dziecinną bezpodstawną spekulacyę. Profesor Ostwald, wówczas niezaprzecznie pierwszą rolę odgrywający na całym obszarze chemii fizycznej, stworzył kierunek „energetyczny“, który upatruje w pojęciu energii jedyną rzeczywistość, a zatem ubóstwia termodynamikę, jako naukę o energii, a potępia cały mechaniczny pogląd na świat, a wraz z nim także pojęcie atomów i drobin. Podobną rolę we Francyi odgrywał słynny Duhem. Za tymi przywódcami szła cała rzesza innych uczonych i uczniów.

Jako charakterystyczny szczegół podniosę, że po okazaniu się wspaniałego dzieła Boltzmanna „Vorlesungen über Gastheorie“ w roku 1898, w znanem niemieckiem czasopiśmie naukowem pojawiło się sprawozdanie o takiem brzmieniu, że „teorya kinetyczna, jak wiadomo, jest tak samo błędna, jak różne mechaniczne teorye grawitacyi, zwłaszcza błędnie pojmuje zasadę zachowania energii; jeżeli jednak ktoś koniecznie chce się z nią zapoznać, niech weźmie do ręki dzieło Boltzmanna“. A sam Boltzmann w przedmowie do owego dzieła skarży się,

że teorya kinetyczna wyszła z mody, i oświadcza, że napisał książkę ową po prostu dlatego, żeby uratować to od zapomnienia co już jest znane.

Jest to rzeczą ogromnie pouczającą śledzić zmienne losy teoryi naukowych; są one ciekawsze od zmiennych losów ludzi, bo każda z nich zawiera w sobie coś nieśmiertelnego, choć pewną cząstką wiecznej prawdy. Jakiż więc był powód owej naganki na teoryę atomistyczno-kinetyczną?

Poniekąd była to po prostu całkiem usprawiedliwiona reakcya przeciwko pseudo-naukowym wybujałościom, które wyrosły na tle atomistyki. Pojęcia atomów, drobin wydają się bardzo proste, zrozumiałe i pozornie teorya atomistyczna nadaje się doskonale do szerokiej popularyzacyi. Popularyzacya jest jednak rzeczą ogromnie niebezpieczną, jeżeli podejmują się niej niepowołani. A co na polu atomistyki nagrzeszono, począwszy od pseudo-filozoficznych dzieł, jak sławetna książka Büchnera „Kraft und Stoff“, aż do podręczników szkolnych — tem możnaby zapełnić obszerne tomy!

Jako odstraszający przykład, który Panów jako nauczających może interesować, przytoczę pewien także u nas, a zwłaszcza w Królestwie używany podręcznik szkolny, w którym cała nauka fizyki rozpoczyna się dogmatycznem wygłoszeniem definicyi, co to jest materya, atom, molekuła. Są to definicye przeważnie bez wartości naukowej, a w każdym razie dydaktycznie chybione n. p.

Co to jest ciało? Ciało jest to jakakolwiek ilość materyi złożona z molekuł.

Zmiana fizyczna jest to taka zmiana, przy której natura molekuł się nie zmienia.

Co to jest ciało stałe? Takie ciało, którego molekuły tylko z trudnością mogą zmienić swe położenie.

Wszak każdy pedagog zrozumie, że nauka fizyki powinna się rozpocząć od poznawania zjawisk fizycznych, a nie od wtłaczania w umysły dziecinne teoryi, choć zresztą może najzupełniej racyonalnych pod względem naukowym. Także teorya atomistyczna nie powinna być podstawą nauki szkolnej, tylko jej ostatnim szczeblem, dostępnym dopiero dla umysłów dojrzalszych, które już gruntownie poznały zjawiska konkretne i potrafią zrozumieć właściwe znaczenie hipotez i te-

oryi. Przedewszystkiem jednak definicye opierać się powinny na zjawiskach dostrzegalnych, a nie na pojęciach teoretycznych. Nie można się nawet tak bardzo dziwić Ostwaldowi, że wobec takich książek jako antidotum napisał podręcznik chemii, tej najwięcej „atomistycznej nauki", w którym obywa się zupełnie bez pojęć atomów i molekuł. Nie sądzę, że tak należy uczyć chemii, ale rozumiem, że można było napisać taką książkę.

Z ową reakcyą przeciwko pedagogicznym i naukowym wybujałościom materyalistycznej atomistyki łączył się jeszcze ogólny prąd naukowo-filozoficzny, który nazwać można „fenomenalizmem". Przedstawiciele tego kierunku, wymieniony poprzednio filozof Mach, fizyk Duhem, po części też anglicy Clifford, Pearson i inni, głosili zasadę po części bardzo słuszną, że ostatecznym i jedynym celem fizyki jest: poznanie prawidłowości dostępnych nam zjawisk — fenomenów fizycznych, nie zaś poznanie wiecznie ukrytej nam istoty wszechrzeczy.

Badajcie zatem zjawiska fizyczne, mówili, starajcie się opisać je zapomocą równań matematycznych, ale wszelkie spekulacye sięgające głębiej, wszelkie poszukiwania ukrytych mechanizmów owych zjawisk są zgubne, są conajmniej marnotrawieniem sił i czasu! Stwórzmy „eine hypothesenfreie Wissenschaft" głosił Ostwald. Jak gdyby wogóle można stworzyć naukę przyrodniczą bez jakichkolwiek hipotez! Czyż jakiekolwiek twierdzenie wychodzące poza zakres pustej formalnej logiki jest absolutnie pewne w zastosowaniu do świata zewnętrznego? I to jest hipoteza, że w tej chwili kilkadziesiąt osób wypełnia tę salę. Może to tylko moje złudzenie optyczne albo halucynacya we śnie?

Jednak ogólne hasło było: „precz ze spekulacyami teoretycznemi!" Zapomniano, że te spekulacye były zawsze najpotężniejszymi bodźcami postępu w nauce, że one jedyne wskazują nowe drogi badania. Zapanował w nauce prąd przesadnie krytyczny, możnaby powiedzieć: tchórzliwie trzeźwy. Nie łatwo to obciąć skrzydła umysłowi ludzkiemu, ale kto nie mógł się powstrzymać od spekulacyi, przynajmniej powstrzymywał się od ogłaszania ich i kompromitowania się publicznie.

Pamiętam dobrze, jak nieraz sam długi czas wahałem się i ociągałem z ogłoszeniem moich przyczynków do teoryi kine-

tycznej. Wszak naturalnie prąd ten zwracał się przedewszystkiem przeciwko najpotężniejszej teoryi, jaką dotychczas nauka wydała, tj. teoryi atomistycznej. Kto wie, jak długo owa stagnacya, ów jałowy nastrój byłby potrwał, gdyby nie były przyszły, w krótkich odstępach czasu, wstrząsające odkrycia Röntgena, Bequerela, małżonków Curie, Zeemanna i wiele innych badań, które z jednej strony wykazywały namacalnie, wiele to jeszcze jest rzeczy pod niebem, o których się dotychczas nie śniło filozofom, a z drugiej strony udowadniały wartość hipotez naukowych, zwłaszcza teoryi atomistyczno-elektronowej.

Dla wytłomaczenia ówczesnego upadku atomistyki naszkicowałem tu kilkoma słowami ogólny nastrój umysłowy owej epoki i to byłoby wystarczające, jako tło psychologiczne, gdyby nam chodziło o prądy w filozofii, literaturze, lub sztuce. Ale wyznawcy nauk ścisłych są to ludzie twardzi, uparci w swych dążeniach, którzy nie ustępują pod wpływem ogólnych nastrojów, a dają się przekonać tylko argumentami namacalnymi. Otóż istniały też bardzo poważne argumenty faktyczne, przemawiające wówczas przeciwko atomistyce i powodujące ogólne zniechęcenie ku temu kierunkowi. Roztrząsaniem tego przedmiotu zajmiemy się obecnie nieco więcej szczegółowo, gdyż stanowi on właściwe jądro najważniejszych zagadnień związanych z atomistyką i teoryą kinetyczną.

Może przy tej sposobności wolno mi nawiasowo wytłómaczyć, czemu tych pojęć do pewnego stopnia używam jako synonimów, pomimo, że właściwe znaczenie słów: teorya „atomistyczna“ i „kinetyczna“ jest całkiem różne. Wszak wiadomo, że dawna atomistyka Daltona wzbogaciła się, od czasów sformułowania zasady zachowania energii, dodatkowem przyjęciem, że atomy i drobiny znajdują się w bezustannym ruchu, że ciepło jest poprostu zapasem energii kinetycznej, a miarą energii kinetycznej tych ruchów wewnętrznych jest właśnie to, co nazywamy temperaturą. Od czasów Roberta Mayera i Helmholtza atomistyka zlała się zatem z teoryą kinetyczną w jednolitą całość.

Otóż owe zarzuty, o których wspominałem, odnoszą się właśnie do zasadniczej własności wszelkiej teoryi kinetycznej: do odwracalności zjawisk mechanicznych.

Co przez to rozumiemy, ilustruje prosty przykład. Jeżeli rzucimy kamień z punktu A do punktu B, to też odwrotnie można z punktu B rzucić ten kamień do punktu A, i będzie on przebiegał ten sam tor, z temi samemi prędkościami, tylko w kierunku przeciwnym. Co prawda, że jest to tylko ważne, o ile pomijamy siły rozpraszające energię, jak tarcie albo opór ośrodka. Odwracalność jest zasadniczą własnością wszelkich ruchów, które się odbywają pod działaniem sił konserwatywnych. Matematyk zrozumie to natychmiast, ponieważ wtedy w Newtonowskich równaniach ruchu występuje zmienna t, czas, tylko w pojęciu przyspieszenia, jako $(dt)^2$, a zatem równania pozostają niezmienione, jeżeli element czasu dt zaopatrzymy znakiem ujemnym. To znaczy, że wszystkie ruchy konserwatywne mogą się odbywać również w porządku odwróconym: od stanu końcowego ku położeniu początkowemu. W teoryi kinetycznej musimy przyjąć wyłącznie konserwatywne siły między atomami czy drobinami — tego wymaga zasada zachowania energii — zatem wynika, że wszystkie zjawiska atomistyczno-drobinowe muszą być w zasadzie odwracalne.

Jeżeli zaś prawdą jest, że wszystkie ciała składają się z poruszających się atomów i drobin:

Czemu nie widzimy np. nigdy konia biegnącego w tył, tak jak lokomotywa może jechać wstecz? Czemu nie zdarza się nigdy, jeżeli wszystko jest odwracalne, żeby stary człowiek odmłodniał, z czasem się stał młodzieńcem, dzieckiem, niemowlęciem i t. d.? W tych przykładach chodzi o skomplikowane istoty, żyjące, możnaby sądzić, że one podlegają prawom odmiennym; jednakowoż tak samo i w przyrodzie martwej spotykamy na każdym kroku tzw. zjawiska nieodwracalne.

Wszak nawet naczelne prawo termodynamiki, tzw. druga zasada, brzmi w słowach Clausiusa: „Ciepło nie może nigdy samo przez się przejść z ciała zimniejszego do cieplejszego“.

Pręt żelazny, jednym końcem ogrzany, wyrównywa z czasem swoją temperaturę, ciepło z części cieplejszej przepływa ku zimniejszej. Natomiast nigdy nie obserwujemy zjawiska odwrotnego, żeby pręt, początkowo jednakową posiadający temperaturę, bez zewnętrznego powodu, sam przez się jednym końcem się ogrzał, a drugim się oziębił.

Podobnie: wrzucajac kamień do stawu widzimy, że kamień z czasem zatraca swoją energię kinetyczną, ściślej mówiąc, zamienia ją w ciepło wskutek tarcia o wodę, a sam opada na dno stawu; a nikt nie widział jeszcze zjawiska odwrotnego: żeby kamienie leżące na dnie stawu, same przez się wylatywały w powietrze. Zjawisko takie nazwalibyśmy cudem.

Taksamo, wlewając wino do wody widzimy, że te dwie ciecze się mieszają; nawet bez naszej pomocy z czasem wytworzy się — wskutek dyfuzyi — jednorodna mieszanina. Nigdy niestety nie zauważymy zjawiska przeciwnego, samodzielnego rozdzielenia się wodnistego wina na wodę i wino czyste.

Nieodwracalność tych zjawisk dyfuzyi, przewodnictwa cieplnego, tarcia wydaje się zupełnie oczywista, ale termodynamika jeszcze wzmacnia naszą wiarę w nią, dowodząc, że gdyby owe zjawiska się dały odwrócić, możliwe byłoby skonstruowanie perpetuum mobile — co fizyka nowoczesna uważa za wykluczone.

Mamy więc oczywistą sprzeczność: teorya kinetyczna nie może być słuszna, ponieważ według niej przy każdym z owych zjawisk również możliwy musiałby być też przebieg odwrotny!

Dużo uczonych pierwszorzędnych dało się odstraszyć tą argumentacyą. Napróżno Boltzmann, wielki bojownik atomistyki, starał się sprawę wyjaśnić, tłómacząc, że zjawisko odwrotne jest wprawdzie możliwe, ale jest niezmiernie nieprawdopodobne. Dlaczego powiadano, przebieganie zjawiska w jednym kierunku miałoby być więcej prawdopodobne niż w drugim?

Dzisiaj doszliśmy do przekonania, że jednak Boltzmann miał racyę, usuwając ową pozorną sprzeczność przez wprowadzenie pojęcia prawdopodobieństwa, a równocześnie pogłębiliśmy jego pomysły i poznaliśmy niemal namacalne dowody ich słuszności.

Zrozumiemy to najlepiej rozważając prosty przykład, do którego niewątpliwie reguły prawdopodobieństwa się stosują. Wyobraźmy sobie pudło, które prawie do połowy wypełnimy kuleczkami białemi a następnie dopełnimy jednakową ilością takich samych kuleczek czerwonych. Możemy te kuleczki tak

starannie ułożyć, że wszystkie białe znajdywać się będą w jednej połowie, wszystkie czerwone w drugiej połowie pudełka. Jeżeli jednak pudełkiem będziemy potrząsać, porządek ten będzie się zacierać, nastąpi stopniowe rozmieszanie, tak że z czasem w każdej części mniejwięcej jednakowe się znajdą ilości białych i czerwonych kuleczek. Wszak stan rozmieszania oczywiście jest prawdopodobniejszy niż stan początkowy, uporządkowany, tak samo jak przy rozdawaniu kart między czterech graczy prawdopodobniej każdy otrzyma karty różnych barw; a chyba nadzwyczaj rzadko się zdarzy, żeby wszystkie karty gracza miały jedną i tę samą barwę.

Jest tu zupełna analogia z winem i wodą w naczyniu, które wskutek wewnętrznych ruchów drobinowych z czasem się zmieszają. Jednak w prawdopodobieństwie istnieją tylko różnice stopniowe, każdy możliwy przypadek posiada pewne prawdopodobieństwo i z czasem musi się przytrafić. Jeżeli owi gracze całe swoje życie poświęcą szlachetnej grze w karty, niewątpliwie przytrafi im się kiedyś i taki dziwny przypadek, że jeden dostanie same coeur, drugi carreau, trzeci trèfle, czwarty same pique.

Tak samo też fizyk obserwujący bezustannie ową mieszaninę wina i wody kiedyś musiałby zauważyć, że choć na chwilę wino się oddzieli samo przez się od wody czystej. Ale jak rzadko takie abnormalne zjawisko występuje, to zależy od liczby kart, kuleczek, drobin cieczy. Czem większa liczba ich, tem mniejsze prawdopodobieństwo zdarzenia abnormalnego — jest to słynne t. zw. „prawo wielkich liczb". Istotnie na podstawie obliczeń z teoryi prawdopodobieństwa twierdzić możemy, że automatycznego rozdzielenia się kieliszka wina wodnistego na czyste wino i czystą wodę nie zauważono by zapewne ani razu w okresie czasu równym tzw. wiekowi ziemi (100 mil. lat); pochodzi to od kolosalnej liczby drobin udział biorących w tem zjawisku.

To wyjaśnia zatem ową pozorną sprzeczność. W zasadzie wszelkie zjawiska atomistyczno-drobinowe są odwracalne. Że zaś istnieją całe kategorye zjawisk, które uważamy za nieodwracalne, pochodzi tylko stąd, że w praktyce wychodzimy ze stanu początkowego uporządkowanego, nadzwyczaj nieprawdopodobnego z punktu widzenia teoryi

kinetycznej, i zazwyczaj wiele za krótki czas zjawisko obserwujemy, aby módz zauważyć jego powrót do owego wyjątkowego stanu początkowego. W naszej krótkowzroczności jesteśmy podobni do owych kwiatów, które na wiosnę się budzą pod wpływem wzrastającego ciepła słonecznego i podczas swego krótkiego życia zapewne i to uważają za dogmat, że: „klimat wszechświata ze stanu zimniejszego przechodzi w stan cieplejszy“. O tem zaś, że kiedyś znów powróci jesień i zima, nigdy się nie dowiedzą.

Atomistyczno-kinetyczny punkt widzenia zgadza się zatem tak dalece zupełnie z zasadami termodynamiki, o ile chodzi o stosunkowo niezbyt długi czas obserwacyi, choć dla zjawisk długotrwałych kosmicznych, wynikają diametralnie przeciwne konsekwencye. Clausius twierdził na podstawie empirycznej termodynamiki, że entropia wszechświata bezustannie wzrasta, że zatem wszechświat z czasem musi przejść w stadyum zupełnej martwoty, — ów słynny „Wärmetod“, w którym wszelka energia potencyalna zamieniła się w ciepło i wszystkie różnice temperatur się wyrównały. Teorya kinetyczna przeciwnie twierdzi, że po stadyum martwoty znów wystąpi nowe życie, gdyż wszystkie stany z czasem powracają, w wiecznym korowodzie.

Wobec tych wszystkich wywodów wrogowie atomistyki mogą powiedzieć: Przyznajemy zatem, że sprzeczność odnosząca się do istnienia zjawisk nieodwracalnych jest tylko pozorna, gdyż z powodu wielkiej liczby drobin, z powodu względnej krótkości czasu obserwacyi z punktu widzenia teoryi kinetycznej nie możemy się wcale spodziewać, żeby owe zjawiska sprzeczne z termodynamiką dały się zauważyć w codziennej naszej praktyce laboratoryjno-technicznej. Zgoda na to — ale nie wynika jeszcze wcale, żeby atomistyka miała mieć racyę w przepowiadaniu owych zjawisk, niezgodnych z codzienną empiryką, na długą metę! Pokażcie nam choć jeden przykład, że tak zw. zjawisko nieodwracalne przebiegło w kierunku odwrotnym!

Otóż takich właśnie przykładów poznano cały szereg w ostatniem dziesięcioleciu, i to jest wielki postęp, to jest ostateczne zwycięstwo teoryi kinetycznej nad dotychczasową termodynamiką, zwycięstwo spekulacyi nad krótkowzrocznym

metr sześcienny powietrza (czy jakiegokolwiek innego gazu w normalnych warunkach temperatury i ciśnienia) zawiera $3. 10^{19}$, czyli trzydzieści trylionów drobin. Co takie liczby znaczą, zrozumiemy może lepiej, gdy sobie wyliczymy, że jedna kropelka deszczu tyle zawiera drobin wody, ile kropelek deszczu znajduje się w całem morzu Śródziemnem!

Ale powróćmy do przerwanego toku myśli. Bezwględny zwolennik termodynamiki musiałby to za cud uważać, gdyby kamienie wrzucone na dno same przez się nabierały ruchu i napowrót ze stawu wylatywały. Tu pod mikroskopem widzimy jak ten cud bezustannie się dokonywa, jak cząstki gumiguty na dno opadają, same przez się znowu się wznoszą, znów opadają i tak w ciągłym pozostają ruchu. Więc doświadczenie rozstrzyga na korzyść atomistyki, tam gdzie jest istotnie sprzeczna z termodynamiką.

Nie znaczy to oczywiście, żeby od dziś dnia termodynamikę trzeba porzucić. Ułatwiłoby to studyowanie fizyki słuchaczom uniwersytetu, ale utrudniłoby zrozumienie zjawisk przyrody. Wszak pierwsza zasada, t. zw. zasada zachowania energii, dotychczas pozostaje nienaruszona, a także owa druga zasada, zasada entropii, o którą tutaj nam chodzi, wprawdzie się zachwiała jako ścisły dogmat naukowy, ale przecież zachowuje swoją wartość: jako prawidło ważne z ogromnem przybliżeniem w codziennej naszej praktyce a odznaczające się przy tem ogromną prostotą, w przeciwieństwie do niezmiernie skomplikowanych zawsze rozważań teoryi atomistyczno-kinetycznej. Tylko tam, gdzie występują sprzeczności między jednym a drugim punktem widzenia, tam pierwszeństwo należy się atomistyce. Ten wynik jest trwałą zdobyczą ostatniego dziesięciolecia.

Wspomnę krótko jeszcze o innego rodzaju dowodzie doświadczalnym wykazującym niemal oczywiście słuszność zasadniczego założenia teoryi kinetycznej: o bezustannym ruchu drobin i atomów. Dowodu tego dostarczyła analiza widmowa. Wyobraźmy sobie, że jakiś gaz jednoatomowy, n. p. argon albo hel pobudzamy do świecenia przy pomocy rozbrojeń elektrycznych w rurce Geisslera. Jeżeli gaz jest dostatecznie rozrzedzony, tak że atomy i drobiny, co w tym przypadku jest to samo, na siebie wzajemnie nie wpływają, to można przewi-

dzieć, bez względu na szczegółowy mechanizm powodujący promieniowanie, że każdy atom będzie wysyłał światło określonej długości fali, odpowiadającej okresowi drgań własnych, w jego wnętrzu się odbywających. Takich drgań może być więcej rodzajów, to znaczy że w widmie zobaczymy szereg linij jasnych, ale każda z nich powinna reprezentować nam światło ściśle monochromatyczne, jednobarwne. Byłoby to słuszne, gdyby atomy, wysyłające owe fale, były nieruchome. W rzeczywistości jednak drobiny gazu posiadają prędkości rzędu kilkaset metrów na sekundę w temperaturze zwykłej. W myśl znanej zwłaszcza w akustyce zasady Dopplera, ruch ten musi wywołać zmianę barwy światła.

Te zatem drobiny, które się ku nam zbliżają, będą wysyłały fale krótsze, odchylone ku fiołkowemu końcowi widma, te które się oddalają będą świecić światłem więcej czerwonem. W całości zatem zamiast matematycznie ostrej linii widmowej musi powstać smuga o pewnej szerokości, a szerokość ta będzie bezpośrednią miarą dla prędkości drobin gazowych. Za pomocą tej samej metody zatem, która nam dozwala zmierzyć spektroskopowo prędkości gwiazd ku nam się zbliżających, lub od nas się oddalających, możemy wyznaczyć prędkości drobin gazowych. Myśl tę już niegdyś amerykański fizyk Michelson usiłował urzeczywistnić, ale wyniki nie były całkiem zadowalające, gdyż nie znano wówczas jeszcze owych gazów jednoatomowych, a przy użyciu gazów wieloatomowych występują komplikacye, zapewne wskutek oddziaływania atomów, złączonych w drobinę.

W ostatnim roku jednak francuscy fizycy Buisson i Fabry wykonali pomiary precyzyjne nad widmem helu, neonu i kryptonu i stwierdzili ścisłą zgodność prędkości drobinowych, tym sposobem empirycznie oznaczonych z temi wartościami, które nam podaje teorya kinetyczna gazów, na podstawie rozważań teoretycznych.

Dotychczas rozważałem właściwie tylko jedną, co prawda najważniejszą fazę odrodzenia atomistyki, t. j. usunięcie wątpliwości i wzmocnienie jej podstaw, które się dokonało w ostatnich czasach — a dokonało się, nawiasem mówiąc, z siłą tak przekonywującą, że kilka lat temu także długoletni wróg atomistyki, Ostwald, się do niej nawrócił, i że dziś wogóle już

trudno znaleźć na tem polu jakichś oponentów. Zaznaczyłem jednak już poprzednio, że z tem odrodzeniem połączyło się pewne przeistoczenie atomistyki, a nawet całej fizyki, które określiłem słowem „elektryzacya".

Słowo to przypomina nam pewien przewrót dokonywający się dzisiaj jeszcze w technice. Kto kilka lat temu jeździł np. w Londynie na owej wiecznie brudnej, cuchnącym dymem przepełnionej kolei podziemnej, underground railway, dozna przyjemnego rozczarowania, gdy dzisiaj tam się wybierze. Stacye, tory kolejowe pozostały niezmienione, ale na miejscu lokomotyw parowych zaprowadzono elektromotory, i na tem czystość, wygoda i szybkość komunikacyi zyskała ogromnie. Podobnie i w nauce dzisiaj dawne teorye i dawne pojęcia mechaniczne zastępujemy stopniowo teoryami i pojęciami z dziedziny elektryczności. Nie jest to jednak wyłącznie rzecz upodobania, lecz jesteśmy do tego zmuszeni siłą faktów, chcąc utrzymać w życiu naczelną zasadę badania naukowego: zasadę jednolitości nauki.

Początek zrobiła optyka. Dawna teorya undulacyjna, pojmująca światło jako drgania sprężystego eteru, jest definitywnie pogrzebana. Dzisiaj optyka jest tylko drobnym poddziałem pewnej kategoryi zjawisk elektrycznych, zwanych drganiami i falami elektromagnetycznemi.

Otóż w związku z nią, a także niezależnie od niej, w dziedzinie rozbrojeń elektrycznych, rozwinęła się teorya elektronowa, która do tego jest powołana, żeby z czasem wchłonąć w siebie całą dawną atomistykę — a z tem całą fizykę materyi. Teorya elektronowa, jest to krótko mówiąc atomistyka elektryczności. Zrodziła się o tyle później niż atomistyka materyi, ale podczas tych kilkunastu lat swego istnienia rozwinęła się tak nadzwyczajnie, że pod wielu względami przewyższyła swój pierwowzór.

Rozwój ten zawdzięcza przedewszystkiem tej okoliczności, że metody mierzenia w dziedzinie elektryczności są o tyle czulsze i doskonalsze niż w zakresie zwykłej mechaniki i termiki. A najdobitniej wykazuje to fakt, że dzisiaj (metodą Millikana) potrafimy bezpośrednio mierzyć nabój pojedynczych elektronów, to jest owych cząstek, z których się składa elektryczność ujemna, i jesteśmy w stanie wykazać naocznie, że

ilości elektryczności występują jedynie jako wielokrotności owych elektronów. Tymczasem o tem naturalnie ani marzyć nie można, żeby módz zważyć pojedyńcze atomy materyi nieelektrycznej, i wszystkie dowody atomistyki materyalnej są natury więcej pośredniej.

Byłoby to rzeczą bardzo nęcącą dla mnie, zapuścić się w bliższe roztrząsania tych cudownych doświadczeń, zapomocą których możemy liczyć pojedyńcze elektrony, oznaczyć ich nabój i fotografować drogi, które one zakreślają i t. d., ale po pierwsze czas na to nie pozwala, a po drugie przedmiot ten łączy się ściśle z działem zjawisk promieniotwórczości, któremu i tak jeszcze szereg wykładów w tym cyklu będzie poświęcony.

Poruszę zatem tylko krótko kwestyę wyników ostatecznych: o ile teorya elektronowa wpłynęła na zmianę poglądów dawnej atomistyki.

Otóż wszystkie rozumowania dawnej teoryi kinetycznej, które polegały na samem przyjęciu, że materya posiada strukturę atomistyczną, zachowują swoją wartość w niezmienionej formie. Porównywałem kiedyś tę transformacyę z przeistoczeniem kawałka drzewa skamieniałego, które swój wygląd i strukturę wewnętrzną zachowało niemal nietkniętą, mimo, że wszelkie organiczne substancye, z których drzewo się składało, zostały zastąpione przez krzemionkę. Wogóle teorya elektronowa nie jest rewolucyą, nie jest przeciwstawieniem atomistyki. Przeciwnie, jest to jej wydoskonalenie i wykończenie.

Wydoskonalono przedewszystkiem, i to w sposób zasadniczy, nasze poglądy na istotę atomów samych. Jak naiwne wydają nam się dzisiaj poglądy dawnych atomistów, z przed kilkudziesięciu laty, używających pojęcia atom w sensie dosłownym i wyobrażających sobie atomy jako ziarna, jako niepodzielne kawałki materyi. Co prawda, już dawno przed teoryą elektronową pierwszorzędni fizycy byli o tem przekonani, że atomy muszą posiadać zawiłą wewnętrzną strukturę, gdyż inaczej nie możnaby sobie wytłómaczyć skomplikowanego widma, złożonego z wielkiej liczby linij widmowych, jakie nawet takie gazy jednoatomowe, jak n. p. para rtęci, wysyłają. Dzisiaj wiemy, posiadamy na to niezbite dowody, że takie atomy składają się z wielkiej liczby elektronów ujemnych i z odpowiedniej ilości elektryczności dodatniej. Zdaje się rze-

czą niemal zupełnie pewną, że wogóle to co nazywamy materyą, jest tylko połączeniem — jakoby związkiem chemicznym — elektronów ujemnych i dodatnich; zdaje się również rzeczą pewną, że to, co nazywamy bezwładnością materyi, jest tylko objawem sił elektromagnetycznych.

Jaka jest struktura owego związku elektronowego, który nazywamy atomem, tę kwestyę usiłowały rozwiązać nadzwyczajnie ciekawe spekulacye Thomsona, Rutherforda, Wilsona, Starcka i innych; są to jednak dopiero pierwsze próby na tem polu, i nie możemy się spodziewać skonstruowania jakiejś teoryi racyonalnej, dopóki nie będziemy posiadać dokładniejszych informacyi co do istoty elektryczności dodatniej. To jest jeden z owych punktów samej teoryi elektronowej, które dotychczas nie zostały należycie wyświetlone. Wogóle w samych podstawach teoryi elektronowej jeszcze istnieją pewne braki, potrzeba jeszcze pewnych uzupełnień, np. co do struktury elektronów samych. Dopóki one nie są wypełnione, „elektryzacya“ fizyki nie jest dokończona, jakkolwiek w głównych zarysach już została dokonana.

Z poznaniem złożoności i podzielności atomów łączy się ściśle inne odkrycie o równie zasadniczem znaczeniu: poznanie ich zmienności. Wiemy dzisiaj, że atomy niektórych pierwiastków — a prawdopodobnie wszystkich — z czasem się rozpadają, tracąc kolejno elektrony ujemne i dodatnie. Wszak wszystkie zjawiska promieniotwórczości polegają na tych przemianach, wszak Ramsay, Curie, Dewar i inni stwierdzili niezbicie, że pierwiastek rad z czasem się przetwarza kolejno na inne pierwiastki promieniotwórcze, między innemi na polon, oraz na hel, gaz jednoatomowy o ciężarze atomowym 4. Niedawno temu poszła przez gazety sensacyjna wiadomość jakoby Ramsayowi udało się dokonać także odwrotnych transformacyi, syntezy cięższych pierwiastków z wodoru i helu. Nie chcę bynajmniej twierdzić, żeby to miało być niemożliwe, ale dopóki się nie pojawią wiadomości więcej autentyczne, sądzę że wypada powątpiewać o prawdziwości tych pogłosek, gdyż dotychczas mimo wszelkich prób wogóle żadnego czynnika nie poznano, któryby wpływał na szybkość transformacyi pierwiastków promieniotwórczych. Odbywa się ona z określoną prędkością dla każdego rodzaju atomów, bez

względu na temperaturę, ciśnienie, sposób połączenia chemicznego itd.; trudno wobec tego przypuścić, żeby się udało odwrócić przebieg transformacyi, dopóki nie potrafimy wpłynąć na jego prędkość.

Bez względu jednak, czy i kiedy się uda urzeczywistnieć dawne marzenie alchemistów: dowolną transformacyę pierwiastków, sam fakt, że świat naukowy dzisiaj takie problemy na seryo dyskutuje, jest nadzwyczajnie charakterystyczny. Niespodziewane odkrycia, sprawdzenie doświadczalne najśmielszych spekulacyi na polu atomistyki i elektroniki, dały potężny impuls fantazyi naukowej. Świeższy i śmielszy prąd panuje dziś w nauce niż przed dwudziestu jeszcze laty, kiedy tchórzliwie ostrożni klasycy nauki nam wciąż powtarzali: Trzymajcie się równań empirycznych, wara od spekulacyi! Nastał okres „romantyzmu naukowego".

Jakiż jednak jest cel ostateczny tych wszystkich spekulacyi atomistyczno-elektronowych? Otóż cel, który się w ostatnich latach coraz wyraźniej zarysowuje, jest stworzenie jednolitej teoryi, obejmującej całokształt zjawisk fizyczno-chemicznych, łącznie z krystalografią.

Narzekają ludzie, zwłaszcza laicy, często na przesadną specyalizacyę w nauce dzisiejszej. Historya atomistyki jest doskonałym dowodem, jak konieczna jest specyalizacya, jak drobiazgowe, precyzyjne zbadanie pewnych pozornie znikomych zjawisk, jak np. owych ruchów Browna, ruchów drobnych cząstek naelektryzowanych i tym podobnych zjawisk mikroskopijnych, umożliwiło wyciągnięcie wniosków ogólnej doniosłości, zapomocą których dążymy do syntezy fizyki i chemii. Tego zaś laicy nie widzą, że ku takiej właśnie syntezie dzisiejsza nauka zbliża się szybkim krokiem. Dziś już wcale nie potrafimy podać definicyi oddzielającej odręb fizyki od chemii. Zwłaszcza aspiracye teoryi elektronowej są bardzo wysokie. Chce ona objąć nietylko całokształt zjawisk — elektrycznych, mechanicznych i cieplnych — ale również coraz energiczniejsze ataki dopuszcza do głównych problemów właściwej chemii. Zwłaszcza ciekawe są usiłowania wyjaśnienia zjawiska wartościowości chemicznej na podstawie elektronowej. Jakkolwiek definitywnego skutku jeszcze nie odniosły, chyba wątpić nie można, że w niedalekiej przyszłości elektronika da nam w rękę

ten klucz do zrozumienia pozornie bezładnego chaosu zjawisk chemicznych.

Ciekawe przeżywamy czasy w nauce.

Zburzyliśmy w ciągu lat kilku cały szereg dogmatów, ubóstwianych przez uczonych dawnych generacyi. Bezwzględna ścisłość praw termodynamiki, niezmienność i niepodzielność atomów, matematyczna ścisłość zasad mechaniki newtonowskiej, a nawet tradycyjne pojęcia czasu i przestrzeni — wszystkie te dogmaty runęły. Natomiast za podstawę uważamy dzisiaj zasadnicze równania elektromagnetycznej teoryi Maxwella, albo raczej elektronowej teoryi Lorentza i na tej podstawie oddajemy się spekulacyom co do wewnętrzej struktury atomów!

Niema dzisiaj problemu za wysokiego, niema teoryi za śmiałej, niema hipotezy zbyt dziwacznej, wolno iść jakąbądź drogą, o ile nas doprowadzi do wyników nowych, lub dawne pozwala ująć w całość z ogólniejszego punktu widzenia.

Czy jednak ten spekulatywny prąd nie sprowadzi nauki na jakieś bezdroża? Istnieje jedna cecha charakterystyczna dla nauki dzisiejszej, która ją uchroni od pustych, fantastycznych spekulacyi, jakie w dawniejszych epokach czasami naukę chwastami zakrywały: to jest jej ścisłość matematyczna. Słusznie powiedział Lagrange: „La mathématique n'a point des signes pour exprimer les notions confuses“.

Matematyka nie posiada nawet znaków do wyrażenia niejasnych, zagmatwanych pojęć.

Przełożyć nasze argumentacye na język matematyczny, to jest jedyna kontrola ich ścisłej logiczności. Porównać wyniki z precyzyjnymi pomiarami doświadczalnymi, to jest jedyna kontrola prawdziwości naszych teoryi. Wymagania nauki pod względem matematycznej ścisłości i doświadczalnej precyzyi wzrastają bezustannie, i to napełnia nas wiarą w trwałą wartość naszej nauki, mimo pozornych przewrotów w niej się odbywających.

Niestety w tym krótkim, pobieżnym przeglądzie najważniejszych postępów, dokonanych na polu atomistyki, musiałem się obejść bez używania symbolów matematycznych, i dlatego też obawiam się, że właśnie pozostanie wrażenie niejasne, zagmatwane. Dlatego też kończę prośbą, żebyście Panowie nie

wierzyli moim gołosłownym twierdzeniom, lecz starali się poznać właściwy materyał dowodowy, to jest teorye matematyczne atomistyki i elektroniki oraz wyniki doświadczalne, z nowszej literatury naukowej. To jedynie może trwałą przynieść korzyść, i tylko wtedy spełniłem zadanie, które sobie postawiłem, jeżeli udało mi się zachęcić Panów do bliższego studyowania tego przedmiotu.

RÊSUMÉ.

Les tendances les plus prononcées dans le développemen actuel de la physique moderne sont la renaissance de l'atomistique et l'„électrification" de la physique; elles s'associent à un mouvement spéculatif, après une période de scepticisme phénoménologique.

Aujourdhui nous savons que les objections soulevées autrefois, par les partisants de la thermodynamique dogmatique, contre la théorie cinétique, sont sans fondement. Les phénomènes du mouvement Brownien, de l'opalescence des gaz etc. vérifient la théorie cinétique, même dans ces détails ou elle mène à des conclusions contradictoires à la thermodynamique. Aussi l'irreversibilité des phénomènes thermodynamiques n'est qu'apparente; elle est engendrée par la courte durée de l'observation et par l'invraisemblance de l'état primitif.

La théorie électronique est un perfectionnement de la théorie atomistique ancienne: elle traduit les conceptions mécaniques en langage électrique. Aujourdhui elle s'appuye sur la vérification directe de la structure discontinue de l'électricité, donnée par Millikan, et on a raison d'espérer qu'elle revélera un jour le mécanisme des forces moléculaires et même des actions chimiques.

Les spéculations de ce genre dans la physique moderne sont très hardies parfois, mais elles sont légitimes, pourvu qu'on les contrôle par des raisonnements mathématiques et des expériences précises.
